

Title	自作モニターによる環境ラドンの測定
Author(s)	
Citation	令和2（2020）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書
Issue Date	2021-04
oaire:version	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/80638">https://hdl.handle.net/11094/80638</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 令和2年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな氏名	ちん したん CHEN SITAN	学部 学科	理学部 物理学科	学年	2 年
ふりがな 共 同 研究者氏名		学部 学科		学年	年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名	川畑 貴裕	所属	大阪大学大学院 理学研究科		
研究課題名	自作モニターによる環境ラドンの測定				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				

## 研究背景:

ラドン(Rn)は天然に存在している放射性気体であり、ウラン系列に属する  $^{222}\text{Rn}$  (半減期:3.8 日) やトリウム系列に属する  $^{220}\text{Rn}$  (半減期:55.6 秒) などが知られている。岩盤に含まれる  $^{238}\text{U}$  や  $^{232}\text{Th}$  から始まる一連の壊変により生じた  $^{222}\text{Rn}$  と  $^{220}\text{Rn}$  は気体であるため、地震発生時に、岩盤の亀裂から空气中及び地下水中へ大量に放出されると考えられている。そのため、Rn 濃度の変化は地震の前兆として研究されてきた。

## 先行研究の要約:

学部 1 年生在学時の秋冬学期の実験では、Fig.1 の実験装置を用いて、静電捕集法による Rn 測定に取り組んだ。Rn はポロニウム (Po) へ  $\alpha$  崩壊する性質を持つ。空気中において、Po は  $\text{Po}^+$ 、もしくは、酸素と結合した  $\text{PoO}^{2+}$  の状態で存在することが知られているので、検出器内に適切な静電場を形成すれば Po を含む陽イオンを検出器表面に捕集することができる。検出器表面で、Po はさらに  $\alpha$  粒子を放出して崩壊することから、Po から放出される  $\alpha$  粒子を検出すれば Rn 濃度を測定できる。

前回の実験装置では、プラスチックシンチレーターの表面に-500V の電圧を印加しつつ容器の外壁を接地し、容器内に静電場を形成した。そして、静電場によってプラスチックシンチレーターの表面に捕集された  $^{218}\text{Po}$  と  $^{214}\text{Po}$  が放出する 6.0MeV と 7.7MeV の  $\alpha$  線を検出した。この実験装置を用いて、大阪大学豊中キャンパスのレプトン棟内における空气中的 Rn 濃度を 2 週間測定した。

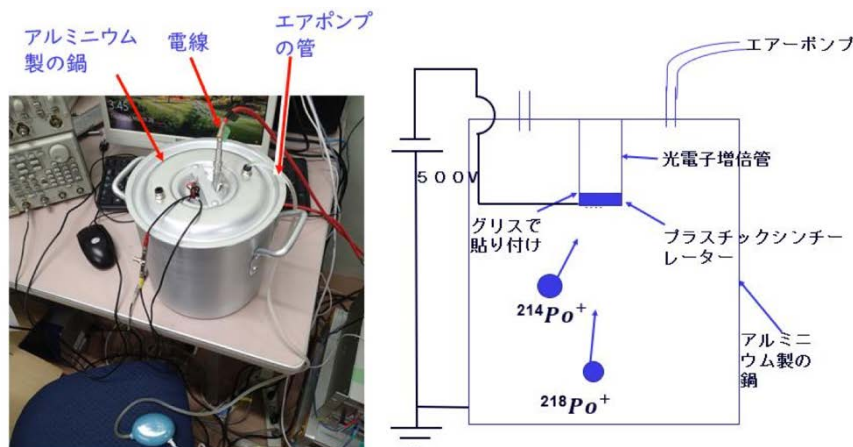


Fig.1 先行研究で用いた実験装置の写真(左)と模式図(右)

Fig. 2 に、前回の測定で得られた  $\alpha$  線のエネルギースペクトルを示す。6400 ch から 6600 ch の領域に Po が放出する  $\alpha$  線に由来すると思われる事象を観測したが、これと同時に、宇宙線による膨大なバックグラウンドも観測してしまった。プラスチックシンチレーターと光電子増倍管の組み合わせではエネルギー分解能が十分でなく、Po による信号とバックグラウンドを十分な精度で分離することは容易でなかったため、データは非常に扱いにくいものであった。

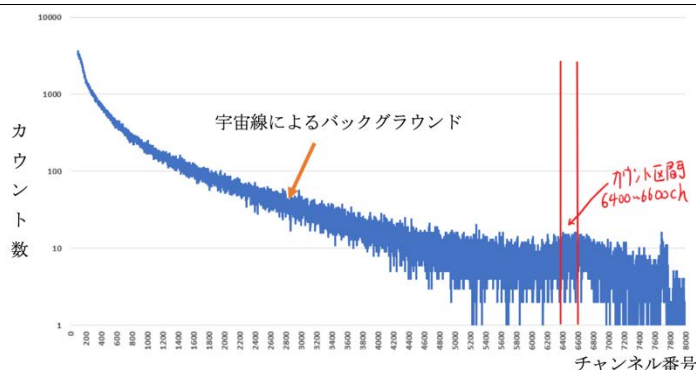


Fig.2 先行研究においてプラスチックシンチレーター検出器を用いて測定した  $\alpha$  線のエネルギースペクトル

### 提案手法:

今回の研究では、静電捕集法に用いる放射線検出器をプラスチックシンチレーターから PIN ダイオードに変更した。PIN ダイオード検出器とは P 型半導体と N 型半導体を接合させた検出器で、プラスチックシンチレーターに比べエネルギー分解能に優れるため、 $\alpha$  線の検出に適している。また、PIN ダイオードは前回の研究に使用したシンチレーター(厚さ 1.5 mm)に比べて、非常に薄い(厚さ 0.3 mm)ため、宇宙線によるバックグラウンドを大幅に抑えることが可能である。

今回の測定に用いた Rn 検出器は、筑波大学の三明康郎特命教授が開発したキットを用いて製作した。このキットでは、python による Web アプリを用いて、リモートでデータの収集やダウンロードなどを行うことができる。

Fig. 3 に簡略化した Rn 検出器の回路図を示す。放射線が PIN ダイオードに入射すると電荷が発生し、プリアンプへ入力される。プリアンプでは入力された電荷量を電圧に変換し整形アンプへ出力する。整形アンプでは電圧を増幅しつつ、適切な形状のアナログ信号に整形して、コンパ

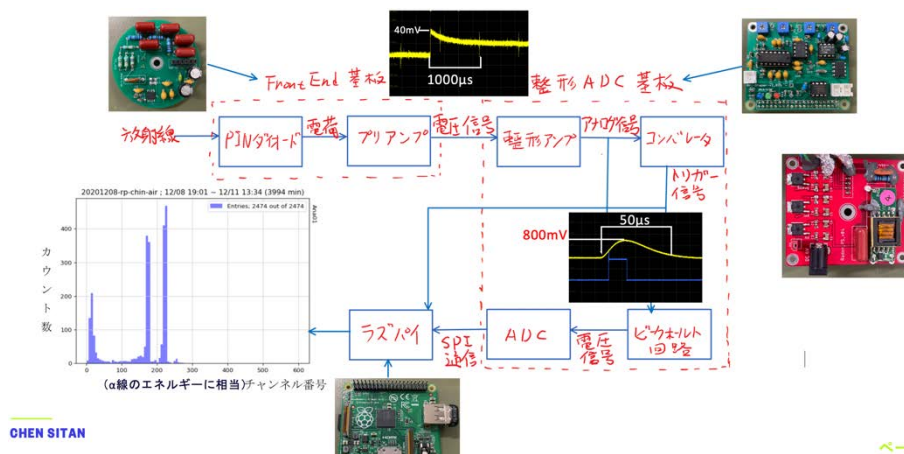


Fig.3 研究で用いた Rn 検出器の回路図

レータとピークホールド回路へ伝送する。コンパレータでは、入力されたアナログ信号の波高と基準電位を比較し、基準電位よりも高い電圧のアナログ信号を検知するとピークホールド回路とミニコンピュータである Raspberry Pi へトリガー信号を送信する。ピークホールド回路はトリガー信号を受け取ると、その時点での信号電圧を ADC へ入力する。Raspberry Pi は、トリガー信号を受け取ると、ADC がデジタル数値化した電圧値の読み出しを行う。得られた電圧値は、Raspberry Pi 上で動作する Web アプリを用いて解析する。

## 実験・結果:

Fig. 2 と Fig. 4 のエネルギースペクトルを見比べると、エネルギー分解能が大幅に向上するとともに、宇宙線に由来するバックグラウンドが劇的に減少していることが分かる。

また、PIN ダイオード検出器を用いて得られたスペクトルでは  $\alpha$  線のピークが明確に分離できており、核種ごとの計測数を個別に決定することが可能となった。PIN ダイオード検出器を導入することで、当初の期待通りに、高精度の測定を実現することができた。

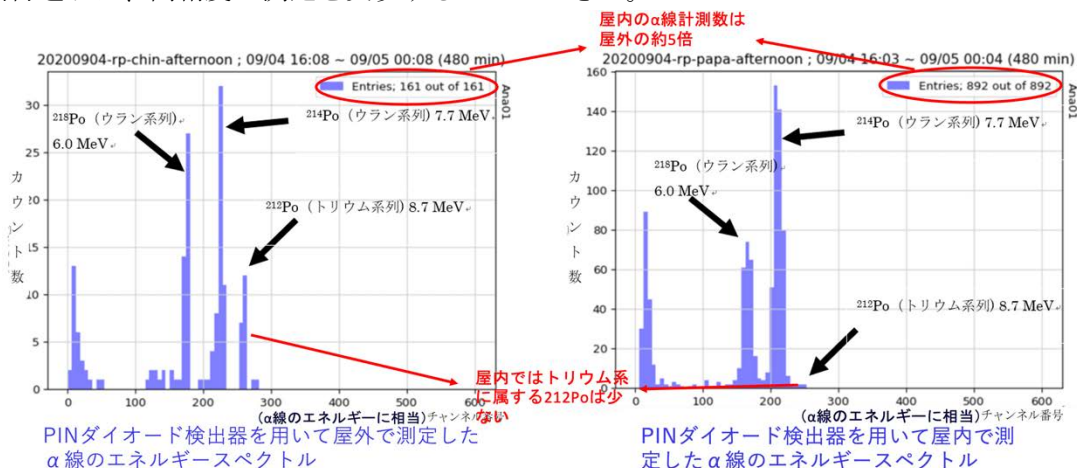


Fig.4 屋外(右)と屋内(左)で測定した  $\alpha$  線のエネルギースペクトル

また、屋外ではウラン系列に属する  $^{218}\text{Po}$  及び  $^{214}\text{Po}$  とトリウム系列に属する  $^{212}\text{Po}$  から放出された  $\alpha$  線がともに観測されたが、屋内ではトリウム系列に属する  $^{212}\text{Po}$  から放出された  $\alpha$  線の計測数は非常に少ないことが確認された。一方で、 $\alpha$  線の計測数は屋外よりも屋内において約 5 倍高かった。この結果は、屋内では壁面から Rn が放出されて滞留するため、その濃度と成分が屋外の空気とは異なることを示している。

本番の長時間測定では Fig. 5 に示すように 2 台の検出器を用いて屋外の空気中と地下水中の Rn を計測することを試みた。2 台の検出器はレプトン棟の屋内に設置した。1 台目の検出器には、建物の外からの空気をポンプで導入した。このとき、温度や湿度、気圧を測定するために、

## 測定セットアップ



二つの装置はレプトン棟内に置き、空気ポンプで左の装置に外の空気を送り込んでいる。右の装置は地下水が流れているバケツから空気を取り入れている。

Fig.5 測定のセットアップ

は、気候モニターの入っているバケツを経由して検出器へ取り入れた。2 台目の装置には、地下水中のラドン濃度を測定するため、地下水が流れているバケツの中の空気を導入した。バケツ中に流れている水は豊中キャンパスにある井戸からレプトン棟まで送水した。送水のために、およそ 50m の配管を水源から実験室まで設置した。



陽イオンである Po は大気中の水蒸気によって電氣的に中和されてしまう可能性が指摘されている。中和されてしまうと、静電捕集法による検出効率が低下する懸念がある。今回の測定における屋外の空気についての  $^{218}\text{Po}$  の 6 時間あたり計測数と気候条件の時間推移を Fig.6 に示す。 $^{218}\text{Po}$  の計測数と湿度の間には弱い相関が認められるものの、完全には相関しておらず、湿度の変化以外にも計測数を変化させる要因があると考えられる。一方、測定期間中における温度と気圧は Po 計測数との相関は確認されず、Rn の検出効率に影響を与えていないと考えられる。

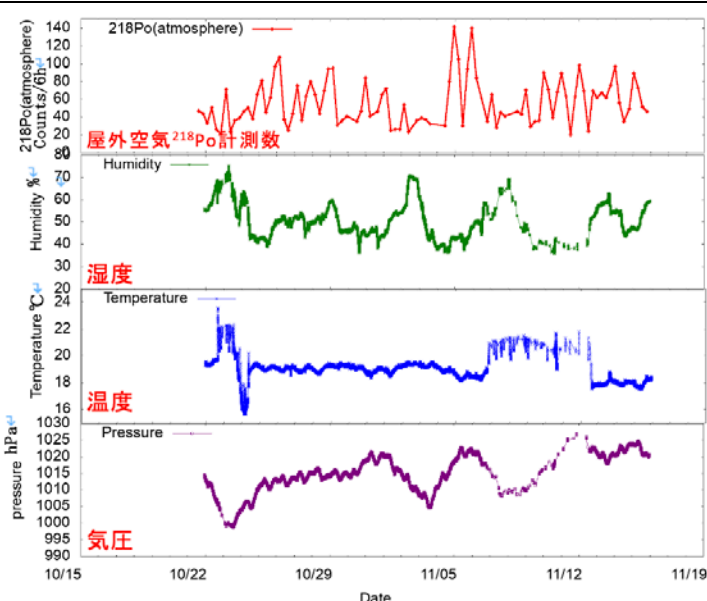


Fig.6 屋外空気中の  $^{218}\text{Po}$  計測数(赤)と気候条件の時間推移(紫:気圧、青:気温、緑:湿度)

## 地震の発生状況と $^{218}\text{Po}$ 計測数の時間推移

検出器の稼働期間中に19回の地震

○ =  $M_w > 3.5$  の地震

○ = 検出器に近く (～50km) に発生した  $M_w > 2.5$  の地震

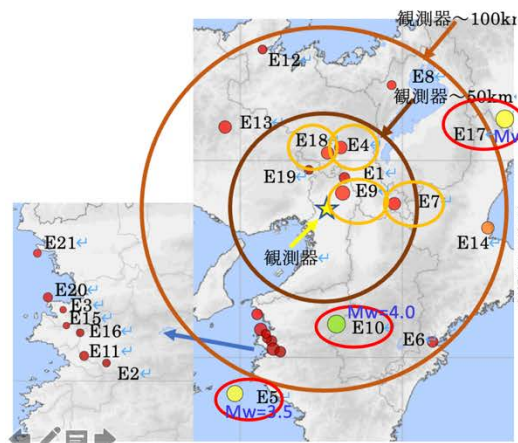


Fig.7 地震の発生状況と  $^{218}\text{Po}$  計測数の時間推移

Fig.7 では関西地域における地震の発生状況と  $^{218}\text{Po}$  計測数の時間推移を表す。Po と地震の関連性を確認するために注目すべきなのは、マグニチュードの大きい地震と、ラドン検出器の近傍で発生した地震である。9月から12月にかけて、関西地方では  $M_w > 3.5$  の地震が3回発生したが、測定期間中に発生した地震は、E10とE17の2回であった。E10が発生した時刻には、屋外空気中で  $^{218}\text{Po}$  計測数のピークが観測された。しかし、平常時と比べ有意に強いピークであるとは言い難い。また、地下水の測定データでは、有意な  $^{218}\text{Po}$  の上昇は認められなかった。E17の発生時刻には、地下水中で  $^{218}\text{Po}$  計測数の上昇が確認されたが、屋外空気中の  $^{218}\text{Po}$  の計測数は特に増加しなかった。一方、検出器から 50 km 圏内に限定すると、測定期間中には  $M_w > 2.5$  の地震が4回 (E4, E7, E9, E18) 発生した。地震発生時に  $^{218}\text{Po}$  の計測数が増加したケースもあれば、増加しなかったケースもあった。

また、12 月 7 日の夜に非常に強いピークが観測されているが、その時刻に関西地域での地震は発生していない。他の地域に調べたところ、当日の午前中に八丈島東方沖で  $M_w = 5.0$  の地震が発生していたことが判明した。 $M_w$  は対数として与えられるため、 $M_w$  が 1 大きな地震では、約 32 倍のエネルギーが放出されることになる。 $M_w = 5.0$  の地震の震源は検出器から約 500 km 離れているが、大阪の Rn 濃度に影響を与えていた可能性がある。また、12 月 10 日にも台湾で  $M_w = 6.3$  の地震が発生している。12 月 7 日に観測されている強いピークはその前兆であった可能性もあるが、 $M_w$  が 6 を超える地震は一回しか発生していないため、地震と Rn 濃度の関係を明らかにするには、さらに長期間にわたって観測を続ける必要がある。

#### まとめと今後の展望:

1. PIN ダイオード検出器を導入することで、エネルギー分解能が大幅に向上するとともに、宇宙線に由来するバックグラウンドを劇的に減少させ、当初の期待通りに高精度の測定を実現することに成功した。PIN ダイオード検出器を用いて得られたスペクトルでは  $\alpha$  線のピークが明確に分離できており、核種ごとの計測数を個別に決定することが可能となった。
2. PIN ダイオード検出器を用いることで測定データの品質が飛躍的に向上し、さらに、ミニコンである Raspberry Pi を導入することで、測定管理が容易になった。筑波大学・三宅康郎特命教授の開発したキットを用いることで、実験装置のコストもかなり抑えられることから、将来の地震予知のために広範囲での活用が期待される。
3. 地震の発生時刻に Rn 濃度が上昇している複数の事象が確認されたが、今回の測定データから、Rn 濃度の変化と地震の関連を断定することは難しい。測定期間中に発生した地震の規模はいずれもマグニチュード 4.0 以下であったが、過去には、マグニチュード 5.0 以上でなければ、Rn 濃度に明確な変化は現れないという報告もあるので、さらに長期間の測定と定量的な検定を行って慎重に検討したい。
4. 静電捕集法の検出効率は湿度の影響を受けることが知られているが、今回の測定で得られた  $^{218}\text{Po}$  の計測数の時間変化は湿度の変化だけでは説明できない。湿度以外の変動要因を精査する必要がある。